

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа природных ресурсов
Направление подготовки: Химическая технология
Отделение школы (НОЦ) химической инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проект узла синтеза винилацетата

УДК 661.741.1.095.255.03-047.74

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д4А	Никонова Ньургуйаана Павловна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ротарь Ольга Васильевна	к.х.н., старший научный сотрудник		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король Ирина Степановна	к.х.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волгина Татьяна Николаевна	к.х.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии
P4	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, выводить на рынок новые материалы, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве, ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа природных ресурсов

Направление подготовки (специальность): Химическая технология

Отделение школы (НОЦ) химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

(Подпись) _____ (Дата) Волгина Т.Н.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2Д4А	Никоновой Ньургуйаане Павловне

Тема работы:

Проект узла синтеза винилацетата		
Утверждена приказом директора (дата, номер)	25.12.2017	№10042

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<p>Синтез винилацетата жидкофазным методом; производительность установки составляет 2000 т/год; процесс непрерывный; основной аппарат - барботажный реактор колонного типа.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>В ходе работы были разработаны следующие разделы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – теоретическая часть; – объект и методы исследования; – инженерные расчеты, включающие материальный, тепловой, механический расчеты, расчет вспомогательного оборудования; – контроль производства; – финансовый менеджмент; ресурсоэффективность и ресурсосбережение; – социальная ответственность. <p>Заключение по работе.</p>
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>1. Схема технологическая. 2. Реактор. Вид общий.</p>

	3. Реактор. Сборочный чертеж
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна
Социальная ответственность	Король Ирина Степановна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	18.09.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ротарь Ольга Васильевна	к.х.н., старший научный сотрудник		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д4А	Никонова Ньургуйаана Павловна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2Д4А	Никоновой Ньургуйаане Павловне

Школа	ИШПР	Отделение	ОХИ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Химическая технология

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта</i>
2. <i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Проведение оценки экономической эффективности исследования получения полиметилметакрилата суспензионным способом</i>
Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):	
1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i> 2. <i>Матрица SWOT</i> 3. <i>График проведения НТИ</i> 4. <i>Определение бюджета НТИ</i> 5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д4А	Никонова Ньургуйаана Павловна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Д4А	Никоновой Ньургуйаане Павловне

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение	Химической инженерии
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования – винилацетат. Материал – уксусная кислота, этилен, воздух, хлорид палладия (II), хлорид меди (II). Приборы – барботажный реактор, теплообменник, сепаратор, ректификационная колонна. Методика – этилен, воздух, подогретая уксусная кислота подается в реактор под давлением, где происходит синтез винилацетата, затем в сепараторе и в ректификационной колонне отделяются винилацетат, ацетальдегид, диоксид углерода и непрореагировавшие исходные вещества. Рабочая зона – компьютерный класс Область применения – в производстве поливинилацетата, сополимеров с винилхлоридом, этиленом и другими неопределенными соединениями.</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); 	<p>1.1 Вредные и опасные факторы, которые может создать объект исследования: Винилацетат – легковоспламеняющаяся жидкость, пары его в смеси с воздухом взрывоопасны, обладает наркотическим и общетоксическим действием, вызывает раздражение глаз и верхних дыхательных путей. ПДК в воздухе рабочей зоны – 10 мг/м³. Средства защиты: обеспечить достаточную вентиляцию, ограничение контакта с вредными веществами, соблюдение инструкций, использование огнеупорной антистатической защитной одежды, очков, перчаток. ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.</p> <p>1.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения Вредные и опасные факторы: шум и вибрация установки, микроклимат, опасность возникновения взрыва или пожара при работе на установке, поражение электрическим током. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические</p>
---	---

<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p>требования к микроклимату производственных помещений. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. 22.07.2013 г. №123 – ФЗ. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>При синтезе винилацетата возможны газообразные выбросы на воздушную среду, содержащие следы этилена, уксусной кислоты, винилацетата, ацетальдегида, углекислого газа. Во избежание чрезмерного загрязнения воздуха используется минимальный расход уксусной кислоты и этилена.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Вероятные чрезвычайные ситуации: возгорание продуктов синтеза, образование взрывчатой смеси при температуре окружающей среды, возникновение пожара на рабочем месте. В случае возникновения ЧС избегать контакта с веществом, эвакуировать людей из опасной зоны, оказать неотложную медицинскую помощь.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Правовые нормы трудового законодательства, регулирующие соблюдение безопасности при работе в производственных площадках. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 31.12.2014)</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	06.04.2018
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король Ирина Степановна	к.х.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д4А	Никонова Ньургуйаана Павловна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 96 страниц, 40 таблиц, 8 рисунков, 34 литературных источника, 3 листа графического материала, 1 приложение.

Ключевые слова: винилацетат, этилен, кислород, воздух, уксусная кислота, барботажный реактор.

Объектом исследования является узел синтеза винилацетата.

Цель работы – спроектировать узел синтеза винилацетата.

В результате исследования был выполнен расчет материального и теплового балансов, также конструктивный и механический расчеты, на основании которых был выполнен чертеж основного аппарата – барботажного реактора колонного типа.

Выпускная квалификационная работа набрана в текстовом редакторе Microsoft Word 2010, чертежи сделаны в программе Компас 2017.

Оглавление

Введение.....	11
1 Теоретическая часть.....	12
1.1 Методы получения винилацетата.....	12
1.2 Особенности технологии производства винилацетата путем окисления этилена в присутствии уксусной кислоты.....	13
1.3 Физико-химические основы процесса	14
2. Объект и методы исследования	17
2.1 Характеристика сырья	17
2.2 Характеристика готового продукта.....	23
2.3 Описание технологической схемы	24
2.4 Аналитический контроль.....	26
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 28	
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	28
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	28
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений	29
3.2 SWOT-анализ.....	31
3.3 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	35
3.4 Планирование научно-исследовательских работ.....	35
3.4.1 Структура работ в рамках научного исследования	35
3.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ	36
3.4.3 Разработка графика проведения научного исследования	37
3.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	43
3.5.1 Расчет материальных затрат НТИ	43
3.5.2 Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ	44

3.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы	45
3.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	48
3.5.5 Накладные расходы.....	49
3.5.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	49
3.5.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	50

Введение

Среди кислородсодержащих соединений, производимых в промышленности нефтехимического и основного органического синтеза, сложные виниловые эфиры, занимают одно из первых мест. Особо важным из них является винилацетат.

Винилацетат начали изучать с 1909 г., а в 1912 г. впервые был получен и выделен немецким химиком Ф. Клатте [1].

Винилацетат является одним из важнейших мономеров, производство которого во всем мире возрастает быстрыми темпами. Значение винилацетата резко возросло с развитием промышленности пластмасс, так как они полимеризуются с образованием смол, которые обладают хорошими оптическими и механическими свойствами. Среди полимеров, синтезируемых из винилацетата, наиболее широко используются поливиниловый спирт, поливинилацетат и поливинилацетали. Поливинилацетат обладает высокой клеящей способностью и используется для производства клеев, водорастворимых латексных красок, для аппретирования тканей и т.д.

Синтез винилацетата осуществляют различными методами. В качестве исходного сырья служат уксусная кислота и ацетилен или уксусная кислота, этилен и кислород [1].

Целью данной работы является проектирование узла синтеза винилацетата. Производительность 2000 т/год; процесс – непрерывный.

1 Теоретическая часть

1.1 Методы получения винилацетата

В качестве сырья для получения винилацетата используют ацетилен, этилен или ацетальдегид. Конкурентная способность того или иного метода в большей степени определяется легкодоступностью и стоимостью исходных реагентов.

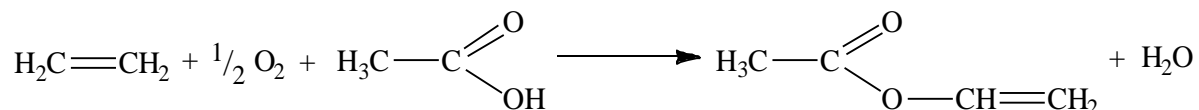
I. Впервые в промышленности на Кусковском химическом заводе в 1938 г. был получен винилацетат жидкофазным способом из ацетилена и уксусной кислоты. Этот метод заключается в том, что через уксусную кислоту, в которой растворен катализатор, пропускают ацетилен. Катализатор представляет собой соли ртути в среде неорганических (H_2SO_4 , H_3PO_4) и органических кислот (сульфокислоты) или ацетаты цинка и / или кадмия, которые нанесены на силикагель, пемзу или оксид алюминия.

Реакция протекает при температуре 60-66 °С. Кроме целевого продукта в малых количествах образуется побочный продукт – этилденддиацетат. За один проход выход винилацетата составляет 3-5 %. Этот метод не нашел практического применения из-за низкого выхода винилацетата, сильной коррозии каталитической системы и токсичности солей ртути [2].

II. В 1953 г. винилацетат был синтезирован из ангидрида уксусной кислоты и ацетальдегида в жидкой фазе при высокой температуре в присутствии катализатора 0,4 % серной кислоты. В качестве катализатора также можно использовать бензол- или толуолсульфоновую кислоты. Помимо винилацетата образуется уксусная кислота [3].

Так как исходные реагенты (ацетальдегид и ангидрид уксусной кислоты) синтезируются из кислорода и этилена, то в итоге процесс получения винилацетата является многостадийным. В частности это и стало причиной препятствия для его практического применения.

III. В настоящее время наиболее популярен способ, в котором в качестве сырья применяются, уксусная кислота, этилен и кислород, а катализаторами служат соли палладия и меди, образующие редокс-систему. Здесь возможны парофазный и жидкофазный процессы. Причем жидкофазный процесс может быть одностадийным, так и двухстадийным. Суммарная реакция такого процесса можно представить следующим уравнением:



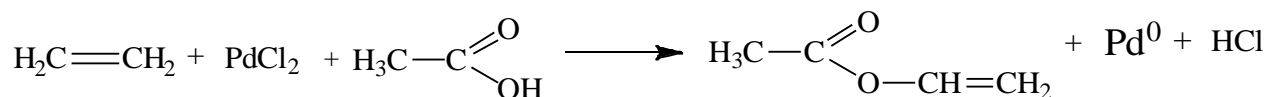
1.2 Особенности технологии производства винилацетата путем окисления этилена в присутствии уксусной кислоты

Производство винилацетата окислением этилена в присутствии уксусной кислоты относится к малоотходным технологиям. Эта технология характеризуется одностадийностью по химической составляющей и непрерывностью. Невысокие конверсии исходных реагентов за один проход приводят к необходимости использования рециркуляции для полного превращения сырья. Исходное сырье для получения винилацетата доступно, поскольку этилен, технический кислород и уксусная кислота являются относительно дешевыми многотоннажными продуктами. Это производство можно отнести к высокоэффективным процессам, хотя конверсии реагентов за один проход нельзя считать достаточным. В полной мере в рассмотренных технологических решениях реализован принцип полноты выделения продуктов из реакционной смеси, так как в противном случае невозможно организовать рецикловые потоки и достичь высокой суммарной конверсии исходного сырья. Достаточно хорошо использован и принцип разработки технологий с минимальным расходом воды, так как отсутствуют кислые, щелочные и солевые водные стоки, а вода, пройдя очистку, может вновь использоваться в смежных цехах и производствах [1].

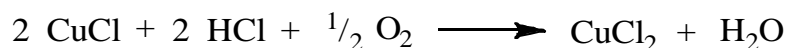
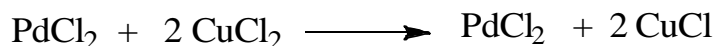
1.3 Физико-химические основы процесса

Винилацетат получают методом окисления этилена в присутствии уксусной кислоты в жидкой фазе. В реакции происходит прямое окисление этилена с замещением атома водорода на комплексные катализаторы, которые содержат переходные металлы. Наиболее широко применяются катализаторы, содержащие анион хлора и катионы палладия, меди в среде уксусной кислоты [1].

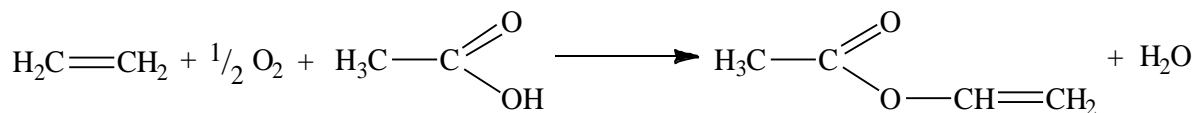
Получение винилацетата из этилена и уксусной кислоты в присутствии хлорида палладия (II) можно представить следующим уравнением:



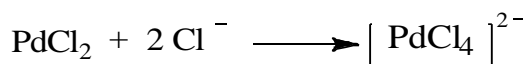
В уксусной кислоте металлический палладий медленно окисляется кислородом и для того, чтобы ускорить процесс, в систему добавляют катализаторы и промоторы. Такими катализаторами служат соли меди, а промотором – хлорид-ион, который вводится в виде хлорида меди. В системе протекают следующие реакции:

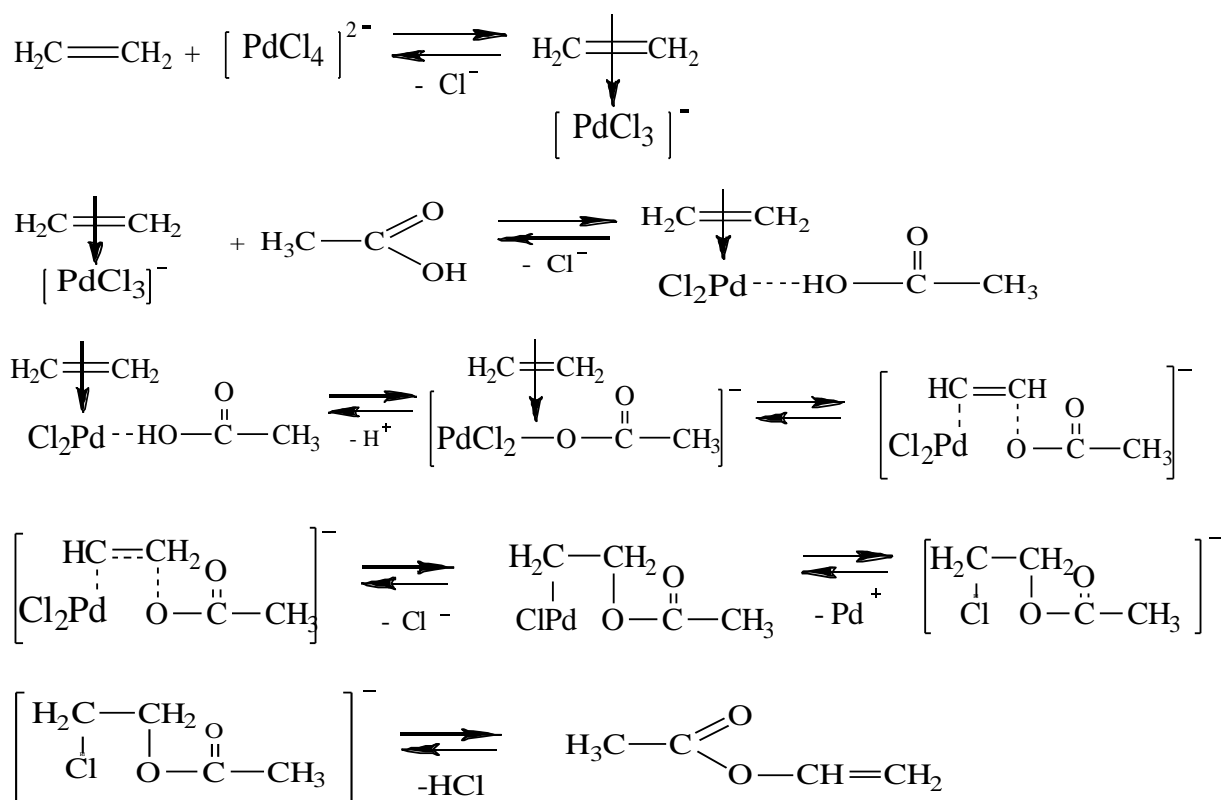


Эти реакции составляют суммарную реакцию процесса:



Механизм данной реакции включает образование промежуточного π -комплекса, изомеризацию в палладий-органические соединения и гетеролитический распад палладий-органического соединения с образованием металлического палладия [2].





В жидкой фазе из-за продолжительного контакта винилацетата с реакционной водой в присутствии солей металлов и хлор-иона образуется ацетальдегид [1].

Выход винилацетата, ацетальдегида и других побочных продуктов, конверсия исходных реагентов зависят от температуры и давления реакции, а также от концентрации хлорида палладия (II), соотношения палладия и меди, соотношения между реагентами: этиленом, уксусной кислотой и кислородом.

Активность катализатора проявляется при температуре от 10 до 130 °С. Температура влияет, в основном, на скорость процесса, так как в интервале от 110 до 130 °С при повышении температуры на 10 °С скорость реакции увеличивается почти в 1,3 раза. С ростом температуры усиливается процесс гидролиза винилацетата, что приводит к повышению выхода ацетальдегида. Тем не менее, на выход ацетальдегида сильнее оказывает влияние концентрации воды, чем влияние температуры [1].

При повышении парциального давления этилена, кислорода увеличивается растворимость и скорость основной реакции. Повышение парциального давления этилена соответственно увеличивает и объемную

производительность основного аппарата. Увеличение общего давления приводит к снижению выхода ацетальдегида при увеличении выхода целевого продукта. И поэтому, процесс проводят при 2,5 МПа, так как при дальнейшем повышении давления выход винилацетата остается неизменным [1].

В данном процессе на выход винилацетата влияет состав катализаторного раствора. Так, при повышении концентрации палладия увеличивается производительность катализаторного раствора по целевому продукту – винилацетату.

Таким образом, жидкофазное окисление этилена осуществляют при температуре 120 °С; давлении 2,5 МПа, содержании ионов палладия в катализаторном растворе 30 – 50 мг/л и ионов меди 3 – 5 г/л. В этих условиях конверсия уксусной кислоты составляет 20 – 30 %, а этилена только 2 – 3 % за один проход [1].

2. Объект и методы исследования

2.1 Характеристика сырья

Этилен

Этилен C_2H_4 (этен) – бесцветный горючий газ с удушливым сладковатым запахом. В структуре имеет кратную двойную связь и поэтому относится к непредельным углеводородам, является простейшим представителем алкенов (олефинов).

В природе этилен практически не встречается. Он является самым производимым органическим соединением в мире [2]. Общая мировая производительность этилена в 2008 году составила 113 миллионов тонн и продолжает расти на 2—3 % в год [4].

Этилен частично растворяется в воде (26 мл в 100 мл воды при 0 °С), этаноле (358 мл при 0 °С). Хорошо растворим в диэтиловом эфире и углеводородах.

Этилен является горючим газом: при повышенной температуре, высоком давлении или вблизи открытой пламени в присутствии кислорода способен к взрывному разложению.

Основные свойства этилена приведены в таблице 1 [5].

Таблица 1 – Свойства этилена [5]

Свойство	Значение
Молекулярная масса, кг/кмоль	28,05
Плотность, кг/м ³	1,18
Температура кипения, °С	- 103,72
Температура плавления, °С	- 169,16
Критическая температура, °С	9,2
Критическое давление, МПа	5,041
Критическая плотность, кг/м ³	0,216

Продолжение таблицы 1

Концентрационные пределы воспламенения смеси с воздухом, % объемный	нижний – не менее 3,0; верхний – не более 32,0
Предельно-допустимая концентрация в рабочей зоне, мг/м ³	100
Теплоемкость, Дж/(моль·К)	43,51
Теплота сгорания, кДж/моль	1400
Класс опасности	4

Этилен играет чрезвычайно важную роль в промышленности. Применяется для получения винилацетата, стирола, уксусной кислоты, этанола и т. д., а также является фитогормоном практически у всех растений.

В высоких концентрациях этилен оказывает на человека и животных наркотическое действие, может вызвать головную боль, головокружение, ослабление дыхания, нарушение кровообращения, потерю сознания. Сжиженный этилен при попадании на кожу вызывает ее поражение, аналогичное ожогу.

В промышленности этилен получают пиролизом различного углеводородного сырья – этана, пропана, бутана, которые содержатся в попутных газах, а также из жидких углеводородов – низкооктановые фракции прямой перегонки нефти.

Уксусная кислота

Уксусная кислота (этановая кислота) CH_3COOH – слабая карбоновая кислота. Представляет собой бесцветную жидкость с характерным резким запахом, имеет кислый вкус.

В природе уксусная кислота редко встречается в свободном виде. В составе растений она представлена в форме солей или эфиров, в теле животных найдена в составе мышечной ткани, селезенки. Легко образуется вследствие брожения, гниения, в процессе распада сложных органических соединений.

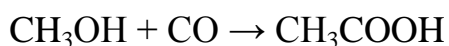
Неограниченно растворима в воде. Смешивается со многими растворителями; является хорошим растворителем для неорганических соединений и газов (HF, HCl, HBr, HI и другие) [6]. Основные свойства уксусной кислоты приведены в таблице 2 [6].

Таблица 2 – Свойства уксусной кислоты [6]

Свойство	Значение
Молекулярная масса, кг/кмоль	60,05
Плотность, кг/м ³	1049,2
Температура кипения, °С	118,1
Температура плавления, °С	16,6
Температура вспышки, °С	41,7
Температура самовоспламенения, °С	454
Критическая температура, °С	321,6
Критическое давление, МПа	5,79
Критическая плотность, кг/м ³	3506
Нижний концентрационный предел распространения пламени, % объемный	4±0,1
Теплоемкость, Дж/(кг·град)	6,45
Теплота сгорания, кДж/кг	14540
Класс опасности	3
Константа диссоциации	$1,75 \cdot 10^{-5}$

Токсическое воздействие уксусной кислоты на человека зависит от концентрации раствора. Высококонцентрированная уксусная кислота (30 %-ный) при контакте с кожей и слизистыми оболочками вызывает сильные химические ожоги. Порог восприятия запаха уксусной кислоты в воздухе – 0,4 мг/л. Предельно допустимая концентрация в воздухе составляет 0,06 мг/м³, в воздухе рабочих помещений — 5 мг/м³ [7].

Уксусную кислоту в промышленности получают путем каталитического карбонилирования метанола монооксидом углерода в присутствии солей родия и йодид-ионов [8].



Кислород

Кислород O_2 — один из активных элементов-неметаллов, является самым распространенным элементом в земной коре. Содержание в атмосфере составляет 20,95 % по объёму и 23,10 % по массе.

Простое вещество кислород при нормальных условиях — газ без цвета, запаха и вкуса. Жидкий кислород обладает светло-голубым оттенком, а твёрдый представляет собой кристаллы светло-синего цвета.

Основные свойства кислорода приведены в таблице 3 [7]:

Таблица 3 – Свойства кислорода [7]

Свойство	Значение
Молекулярная масса, кг/кмоль	15,99
Плотность, кг/м ³	1,43
Температура кипения, °C	- 182,96
Температура плавления, °C	- 218,35
Критическая температура, °C	- 118,84
Теплоемкость, Дж/(моль·K)	29,4

Кислород практически не растворим в воде: при 20 °C и 1 атм в 1 м³ воды растворяется 0,031 м³, а при 0 °C – 0,049 м³ кислорода.

В химической промышленности кислород используют как реактив-окислитель в многочисленных синтезах, например, — окисления углеводородов в кислородсодержащие соединения (спирты, альдегиды, кислоты), аммиака в оксиды азота в производстве азотной кислоты. Вследствие высоких температур, развивающихся при окислении, последние часто проводят в режиме горения.

На сегодняшний день в промышленности кислород получают из воздуха криогенной ректификацией. Также хорошо известны кислородные установки, которые работают на основе мембранной технологии.

Хлорид палладия (II)

Хлорид палладия (II) PdCl_2 – неорганическое соединение хлора и палладия, относящееся к классу солей. Представляет собой красно-бурый кристалл.

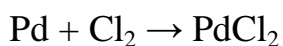
Основные свойства хлорида палладия (II) приведены в таблице 4 [9]:

Таблица 4 – Свойства хлорида палладия (II) [9]

Свойство	Значение
Молекулярная масса, кг/кмоль	177,3
Температура плавления, °C	679
Температура разложения, °C	500
Плотность, кг/м ³	4080

Хлорид палладия (II) плохо растворяется в воде, в холодной лучше чем в горячей. В органических растворителях хорошо растворим. Образует хорошо растворимые в органических растворителях комплексы с ацетонитрилом или бензонитрилом.

Синтезируется непосредственно из палладия и хлора:



Хлорид палладия используется как катализатор и для обнаружения микро количеств угарного газа в воздухе или газовых смесях.

Хлорид меди (II)

Хлорид меди (II) CuCl_2 —неорганическое вещество, относится к классу солей и галогенидов. Представляет собой твердое вещество желто-бурого цвета, при умеренном нагревании плавится без разложения, при дальнейшем нагревании кипит и разлагается. В природе встречается в виде

редкого минерала эрнохальцита $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (представляет собой кристаллы синего цвета).

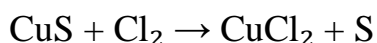
Основные свойства хлорида меди (II) приведены в таблице 5 [10].

Таблица 5 – Свойства хлорида меди (II) [10]

Свойство	Значение
Молекулярная масса, кг/кмоль	134,45
Температура кипения, °C	993
Температура плавления, °C	498
Температура разложения, °C	300
Плотность, кг/м ³	3386
Теплоемкость, Дж/(моль·K)	71,9
Класс опасности	3

Хорошо растворяется в воде (77 г в 100 мл воды), этаноле (53 г в 100 мл этанола), метаноле (68 г в 100 мл метанола), ацетоне. Легко восстанавливается до Cu^{1+} и Cu^0 . Токсичен: при попадании на кожу вызывает раздражение, при попадании в глаза вызывает необратимые последствия [10].

Основной промышленный метод синтеза CuCl_2 — реакция хлорирования сульфида меди при повышенной температуре (300-400 °C).



Основным промышленным применением хлорида двухвалентной меди является ее использование в качестве сокатализатора в присутствии хлорида палладия (II) в Вакер процессе.

Хлорид меди (II), также используется в пиротехнике как синий/зеленый краситель.

2.2 Характеристика готового продукта

Винилацетат

Винилацетат $\text{CH}_3\text{COO}-\text{CH}=\text{CH}_2$ — органическое соединение класса сложных эфиров, представляет собой прозрачную жидкость с характерным запахом.

Основные свойства винилацетата приведены в таблице 6 [7]:

Таблица 6 – Свойства винилацетата [7]

Свойство	Значение
Молекулярная масса, кг/кмоль	86,09
Плотность, кг/м ³	934
Температура кипения, °С	72,7
Температура плавления, °С	- 93
Температура вспышки, °С	- 8
Температура самовоспламенения, °С	402
Критическая температура, °С	228,9
Критическое давление, МПа	2,27
Нижний концентрационный предел распространения пламени, % объемный	2,6±0,1
Теплоемкость, Дж/(моль·К)	125,37
Класс опасности	3
Растворимость в воде, % массовый	2,0-2,4

Образует азеотропные смеси со спиртами, водой и углеводородами.

По химическим свойствам винилацетат — типичный виниловый эфир. В растворах кислот или щелочей гидролизуетсся с образованием уксусной кислоты и ацетальдегида. Вступает в реакцию с карбоновыми кислотами в присутствии солей ртути, образуя новые виниловые эфиры. Полимеризуется под действием света, радикальных инициаторов с образованием

поливинилацетата, сополимеризуется с виниловыми мономерами. Винацетат присоединяет по двойной связи галогены, HCl или HBr, H₂, уксусную кислоту, подвергается карбонилированию, вступает в диеновый синтез и др.

2.3 Описание технологической схемы

Синтез винацетата в жидкой фазе непрерывным способом происходит в барботажном реакторе *P-3* при температуре 120 °C и под давлением 2,5 МПа [1].

Реактор *P-3* представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, в нижней части которого расположен барботер, через который подается этилен и воздух в виде газовых пузырей через слой жидкости – уксусной кислоты. В верхней части реактора расположена тарелка в качестве брызгоуловителя.

Подогретую уксусную кислоту до 60 °C в теплообменнике *T-1* и газовую смесь (этилен и кислород) подают в реактор *P-3*, где происходит окисление этилена. Отходящая из реактора парогазовая смесь проходит конденсатор *K₂-4*, где конденсируются винацетат, ацетальдегид, вода, непрореагировавшая уксусная кислота и другие побочные продукты. В сепараторе *C-5* происходит отделение конденсата от непрореагировавших и несконденсированных этилена, кислорода, углекислого газа и инертных примесей.

Нижний слой, состоящий из винацетата и ацетальдегида, из сепаратора *C-5* направляется в ректификационную колонну *KP-6*, где винацетат отделяется от ацетальдегида и непрореагировавшей уксусной кислоты, которая рециркулирует в реактор. Винацетат направляется в конденсатор для охлаждения.

Технологическая схема процесса показана на рисунке 1.

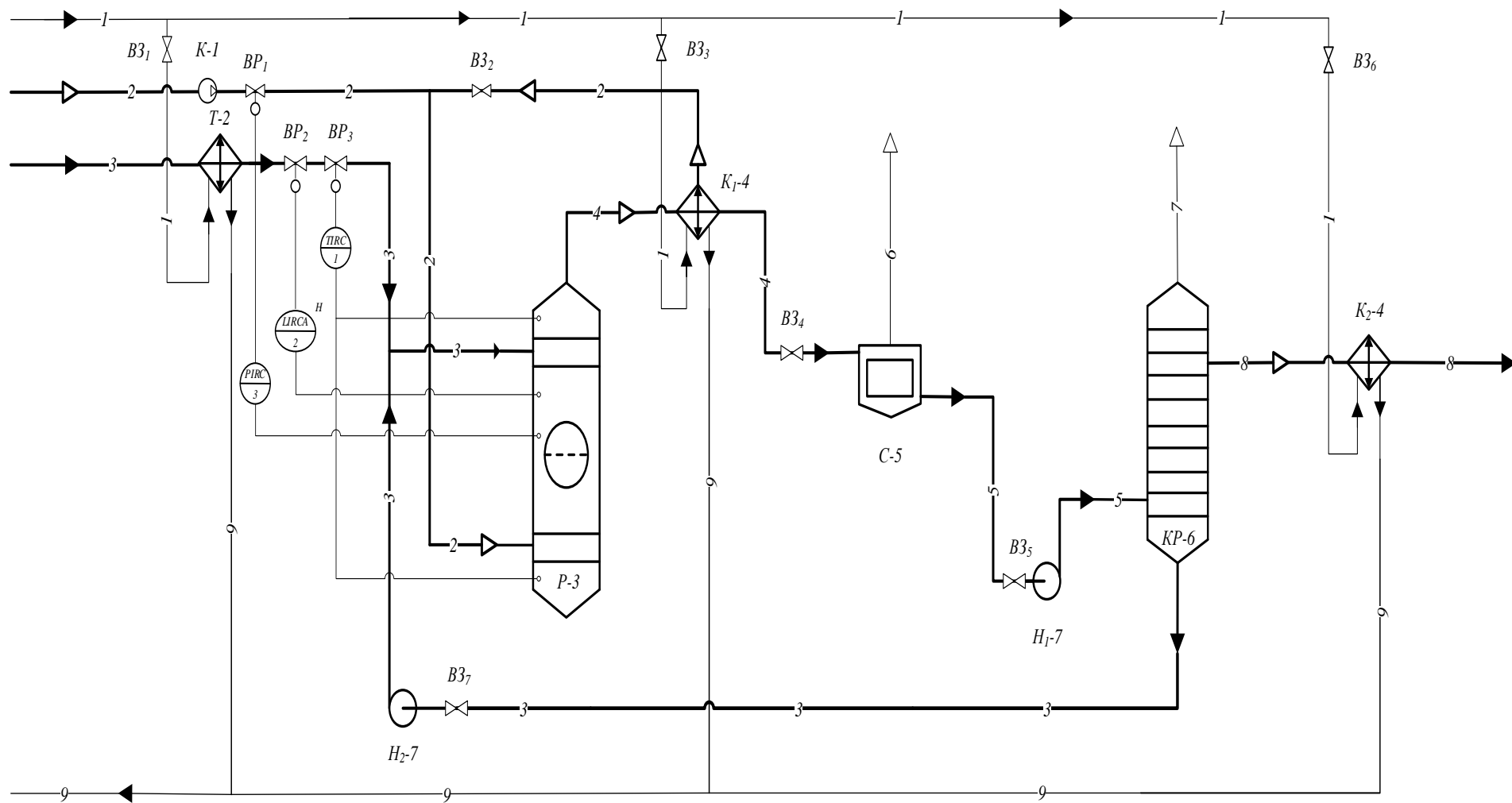


Рисунок 1 –Технологическая схема синтеза винилацетата

Контроль производства синтеза винилацетата осуществляется следующими приборами:

- давление в реакторе контролируется с помощью прибора *PIRC-3* и регулируется клапаном, установленным на подаче газовой смеси (этилена и воздуха);
- температура в нижней и верхней части реактора контролируется с помощью прибора *TIRC-1* и регулируется клапаном, установленным на подаче уксусной кислоты;
- уровень уксусной кислоты в реакторе контролируется с помощью прибора *LIRCA-2* и регулируется клапаном, установленным на подаче уксусной кислоты.

2.4 Аналитический контроль

При аналитическом контроле качества винилацетата, кроме кривой его разгонки и плотности, определяют содержание в нем соответственно мономера, альдегидов (ацетальдегида), кислых соединений (свободной уксусной кислоты) и воды.

Плотность определяют с помощью пикнометра; температуру кипения (пересчитывают на 760 мм рт. ст.) и кривую разгонки устанавливают на приборе, позволяющем точно определить границы фракций при перегонке с определенной скоростью [11].

Содержание винилацетата определяют йодометрическим способом, в котором считают количество брома, пошедшего на присоединение по месту двойной этиленовой связи [11].

Ацетальдегид в винилацетате определяют с помощью кислого сульфита натрия. Избыток последнего титруют 0,1 н. раствором йода (индикатором является раствор крахмала). Кроме основного определения, всегда необходимо проводить холостой опыт. В обоих случаях винилацетат

(10 мл) растворяют в свежeproкипяченной, свободной от двуокиси углерода дистиллированной воде [11].

Содержание кислых примесей определяют прямым титрованием 50 мл винилацетата 0,05 н. раствором едкого натра в 50%-ном метаноле при 0 °С. Индикатором является тимоловый синий [11].

Для определения количества воды применяют реактив Фишера. Метод определения свободного спирта зависит от содержания в анализируемом образце воды. Если образец сухой, то анализ проводят непосредственно. Навеску винилацетата нагревают с отмеренным количеством раствора уксусного ангидрида в безводном пиридине, избыток ангидрида разлагают водой и уксусную кислоту титруют спиртовым 0,5 н. раствором едкого натра. Одновременно проводят холостой опыт с таким же количеством ангидрида. Если образец влажный, то предварительно винилацетат посредством гидрогенизации переводят в соответствующий этиловый эфир, чтобы предотвратить возможность гидролиза. Если образец содержит свободный ацетальдегид, который в присутствии пиридина может реагировать с уксусным ангидридом, то вместо последнего применяют фталевый ангидрид [11].

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Винилацетат является основным органическим сырьем для производства поливинилацетата, поливинилового спирта, поливинилбутираля, винилацетатной эмульсии, сополимера винилацетата и этилена (EVA смола и VAE эмульсия), мультиполимеров (винилацетата и акриловой кислоты, бутеновой кислоты, малеиновой кислоты и других ненасыщенных кислот и эфиров ненасыщенных кислот), продуктов алкоголиза (винилацетата и этилена и т. д.).

Мировое производство винилацетата стабильно возрастало после резкого спада в 2008-2009 годах. В 2015 году мировой объем производства продукта превысил 7,2 млн т. [1].

3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Все предприятия стремятся получить наиболее качественную продукцию винилацетата, отвечающую требованиям, предъявляемым к ней, с минимальными затратами на процессы подготовки и дальнейшей транспортировки. В связи с этим, российские предприятия будут целевым рынком для результатов исследования.

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Сегментация рынка производства винилацетата по следующим критериям показана в таблице 7 [23].

Таблица 7 – Сегментация рынка производства винилацетата [23]

		Вид отрасли		
		Производство поливинилацетата	Производство поливинилового спирта	Производство винилацетатной эмульсии
Размер компании	Крупные	+++++++		+++++++
	Средние	//////////		
	Мелкие	*****	*****	

+++++++ ООО «Ставролен» («Лукойл»);

////////// ОАО «Невинномысский Азот» (МХК «Еврохим»);

*****Проведенная исследовательская работа

3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

При ведении собственного производства необходим систематический анализ конкурирующих разработок во избежание потери занимаемой ниши рынка. Периодический анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности позволяет оценить эффективность научной разработки по сравнению с конкурирующими предприятиями.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;
 V_i – вес показателя (в долях единицы);
 B_i – балл i -го показателя.

В таблице 8 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области производства винилацетата [23].

Таблица 8 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок [23]

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии обогащаемого материала							
1. Выход продукта	0,13	4	5	4	0,52	0,65	0,52
2. Энергоемкость процессов	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
3. Селективность процесса	0,13	4	5	4	0,52	0,65	0,52
4. Побочные продукты	0,11	5	4	3	0,55	0,44	0,33
5. Расход катализатора	0,13	5	4	4	0,65	0,52	0,52
6. Простота обслуживания	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
7. Цена	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
8. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
9. Финансирование научной разработки	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
Итого:	1				4,54	4,46	3,89

B_{ϕ} – продукт проведенной работы;

B_{k1} – ООО «Ставролен» («Лукойл»);

B_{k2} – ОАО «Невинномысский Азот» (МХК «Еврохим»).

По результатам проведенного анализа видно, что жидкофазный процесс получения винилацетата не уступает другим методам, которым пользуются ООО «Ставролен» и ОАО «Невинномысский Азот». Данный факт определенно обусловлен весьма весомыми достоинствами данной технологии, которые являются определяющими при выборе процесса: цена, энергоёмкость и др.

3.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 9 [23].

Таблица 9 – Первый этап SWOT-анализа [23]

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1 Экологичность технологии С2 Энергоэффективность технологии С3 Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями С4 Использование отходов производств в качестве сырья (ресурсоэффективность технологии)	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1 Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца Сл2 Отсутствие сертификации Сл3 Отсутствие бюджетного финансирования.
Возможности: В1 Повышение стоимости конкурентных разработок		
Угрозы: У1 Отсутствие спроса на новые технологии производства У2 Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования У3 Развитая конкуренция технологий производства У4 Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции		

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» –

если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивные матрицы представлены в таблицах 10, 11, 12 и 13.

Таблица 10 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	+	+

Таблица 11 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	-	-

Таблица 12 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны					
Угрозы		C1	C2	C3	C4
	У1	+	0	-	+
	У2	-	+	-	+
	У3	-	0	-	+
	У4	-	-	-	0

Таблица 13 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	+
	У2	+	0	+
	У3	-	-	0
	У4	-	+	-

Таким образом, в рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 14).

Таблица 14 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1 Экологичность технологии С2 Энергоэффективность технологии С3 Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями С4 Использование отходов производств в качестве сырья (ресурсоэффективность технологии)	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1 Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца Сл2 Отсутствие сертификации Сл3 Отсутствие бюджетного финансирования.
Возможности: В1 Повышение стоимости конкурентных разработок	Экологичность, энергоэффективность, более низкая стоимость, использование отходов производств увеличит конкурентоспособность	Закупка необходимого оборудования, помощь в финансировании проекта и его сертификации увеличит конкурентоспособность
Угрозы: У1 Отсутствие спроса на новые технологии производства У2 Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования У3 Развитая конкуренция технологий производства У4 Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции	Экологичность, энергоэффективность выбранной технологии, а также использование отходов в качестве сырья вполне способны ослабить влияние перечисленных угроз.	В связи с развитием конкуренции технологий, несвоевременным финансированием, введением дополнительных государственных требований к сертификации, отсутствием возможности найти альтернативные методы производства есть большой риск потери занятой ниши рынка.

3.3 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В таблице 15 представлена морфологическая матрица для методов получения винилацетата [1].

Таблица 15 – Морфологическая матрица [1]

	1	2	3
А. Исходное вещество	Этилен	Этилен	Ацетилен
Б. Растворитель	Уксусная кислота	Уксусная кислота	Уксусная кислота
В. Окислитель	Воздух	Воздух	-
Г. Катализатор	Хлорид палладия(II)	Хлорид палладия(II)	Ацетат цинка
Д. Промотор	Хлорид меди(II)	-	-

3.4 Планирование научно-исследовательских работ

3.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в чей состав входят: бакалавр, научный руководитель, консультант по части социальной ответственности (СО) и консультант по экономической части (ЭЧ) выпускной квалификационной работы. Составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и проведем распределение исполнителей по видам работ (таблица 16).

Таблица 16 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1	2	3	4
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, консультант ЭЧ, СО, бакалавр
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, бакала вр,
	4	Патентный обзор литературы	Бакалавр
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр
Теоретические исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, бакалавр
	8	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, бакалавр
Проведение ВКР			
Разработка технической документации и проектирование	9	Разработка технологии получения винилацетата	Бакалавр
	10	Оценка эффективности производства и применения разработки	Бакалавр, консультант по ЭЧ
	11	Разработка социальной ответственности по теме	Бакалавр, консультант СО
Оформление комплекта документации по ВКР	12	Составление пояснительной записки	Бакалавр

3.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения

ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула (2):

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (2)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;
 $t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;
 $t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;
 $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел. – дн;
 $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

3.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле (5):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 96 - 14} = 1,48. \quad (6)$$

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу 17.

Таблица 17 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работ	Трудоемкость работ									Исполнитель и	Т _р , раб. дн.			Т _р , кал. дн.		
		t _{min} , чел-дн.			t _{max} , чел-дн.			t _{ож} , чел-дн.				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
1	Составление технического задания	0,3	0,3	0,3	1	1	1	0,6	0,6	0,6	Р	0,15	0,15	0,15	0,2	0,2	0,2
		0,3	0,3	0,3	1	1	1	0,6	0,6	0,6	Б	0,15	0,15	0,15	0,2	0,2	0,2
		0,3	0,3	0,3	1	1	1	0,6	0,6	0,6	К ₁	0,15	0,15	0,15	0,2	0,2	0,2
		0,3	0,3	0,3	1	1	1	0,6	0,6	0,6	К ₂	0,15	0,15	0,15	0,2	0,2	0,2
2	Выбор направления исследований	0,5	0,5	0,5	2	2	2	1	1	1	Р	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7
		0,5	0,5	0,5	2	2	2	1	1	1	Б	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7
3	Подбор и изучение материалов	5	5	5	10	10	10	7	7	7	Р	3,5	3,5	3,5	5,2	5,2	5,2
		5	5	5	10	10	10	7	7	7	Б	3,5	3,5	3,5	5,2	5,2	5,2
4	Литературный обзор	7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2	Б	8,2	8,2	8,2	12,1	12,1	12,1
5	Календарное планирование работ по теме	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Р	0,7	0,7	0,7	1	1	1
		1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Б	0,7	0,7	0,7	1	1	1
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	6	6	6	10	10	10	7,6	7,6	7,6	Б	7,6	7,6	7,6	11,2	11,2	11,2
7	Оценка эффективности результатов	3	3	3	4	4	4	3,4	3,4	3,4	Р	1,7	1,7	1,7	2,5	2,5	2,5
		5	5	5	7	7	7	5,8	5,8	5,8	Б	2,9	2,9	2,9	4,3	4,3	4,3
8	Определение целесообразности проведения ВКР	5	5	5	7	7	7	5,8	5,8	5,8	Р	2,9	2,9	2,9	4,3	4,3	4,3
		5	5	5	7	7	7	5,8	5,8	5,8	Б	2,9	2,9	2,9	4,3	4,3	4,3
9	Разработка технологии производства винилацетата	2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	Б	2,4	2,4	2,4	3,6	3,6	3,6
10	Оценка эффективности производства	7	7	7	10	10	10	7,6	7,6	7,6	Б	4,1	4,1	4,1	6	6	6
		7	7	7	10	10	10	7,6	7,6	7,6	К ₁	4,1	4,1	4,1	6	6	6
11	Разработка СО	7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2	Б	4,1	4,1	4,1	6	6	6
		7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2	К ₂	4,1	4,1	4,1	6	6	6
12	Составление пояснительной записки	10	10	10	15	15	15	12	12	12	Б	12	12	12	17,8	17,8	17,8

Р – руководитель;




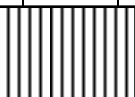

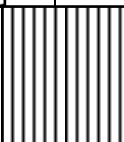

Б – бакалавр;

К₁ – консультант по экономической части;




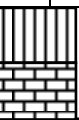
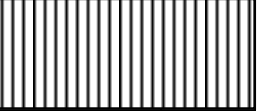
К₂ – консультант по социальной ответственности.

На основе таблицы 17 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 18 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 18–Календарный план-график проведения НИОКР

Вид работы	Исполнители	T_{ki} , дней	Продолжительность выполнения работ										
			февраль		март			апрель			май		
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Составление технического задания	Руководитель, бакалавр, консультант ЭЧ, СО	0,2											
Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр	0,7											
Подбор и изучение материалов	Руководитель, бакалавр	5,2											
Патентный обзор литературы	Бакалавр	12,1											
Календарное планирование работ	Руководитель, бакалавр	1											
Проведение теоретических расчетов обоснований	Бакалавр	11,2											
Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, бакалавр	2,5 4,3											

Продолжение таблицы 18

Вид работы	Исполнители	T_{ki} , дней	Продолжительность выполнения работ										
			февраль		март			апрель			май		
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, бакалавр	4,3											
Разработка технологии производства винилацетата	Бакалавр	3,6											
Оценка эффективности производства	Бакалавр, консультант ЭЧ	6											
Разработка социальной ответственности	Бакалавр, консультант СО	6											
Составление пояснительной записки	Бакалавр	17,8											

Руководитель	Бакалавр	Консультант ЭЧ	Консультант СО
			

3.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на основное оборудование для научно-экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

3.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

Для выполнения данной ВКР требуются материальные затраты на:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований).

Материальные затраты данного НТИ представлены в таблице 19 [23].

Таблица 19 – Материальные затраты [23]

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Этилен	кг	1000	1000	-	72,3	72,3	-	72300	72300	-
Ацетилен	м ³	-	-	1400	-	-	501,5	-	-	702100
Воздух	кг	1600	1600	1600	0	0	0	0	0	0
Уксусная кислота	кг	1500	1500	1500	55	55	55	88000	88000	88000
Хлорид палладия	кг	0,1	0,1	-	1430000	1430000	-	143000	143000	-
Хлорид меди	кг	5	5	-	1800	1800	-	9000	9000	-
Ацетат цинка	кг	-	-	10	-	-	71,3	-	-	713
Итого:								312300	312300	790813

3.5.2 Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ

Для оборудования нужно рассчитать величину годовой амортизации по следующей формуле (7):

$$A_{\text{год}} = \frac{C_{\text{перв}}}{T_{\text{пи}}}, \quad (7)$$

где $C_{\text{перв}}$ – первоначальная стоимость, руб;

$T_{\text{пи}}$ – время полезного использования, год.

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблицу 20.

Таблица 20 – Затраты на оборудование для научно-экспериментальных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудовани я	Цена единицы оборудования , руб.	Сумма амортизационны х отчислений, руб.
1	Реактор барботажный	1	300000	20000
2	Подогреватель	1	100000	6667
3	Холодильник	1	150000	10000
4	Сепаратор	1	180000	12000
5	Ректификационная колонна	1	900000	60000
6	Насос	2	30000	3000
Итого		7	1690000	114667

3.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии и доплаты) и дополнительную заработную плату. Также включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} , \quad (8)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия(при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p , \quad (9)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 17);

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (10)$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб.дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб.дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 21).

В таблице 21 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 21–Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр	Консультант ЭЧ	Консультант СО
Календарное число дней	365	365	365	365
Количество нерабочих дней				
• выходные дни:	52	52	52	52
• праздничные дни:	14	14	14	14
Потери рабочего времени				
• отпуск:	48	48	48	48
• невыходы по болезни:	7	7	7	7
Действительный годовой фонд рабочего времени	245	245	245	245

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (11)$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $З_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $З_{\text{тс}}$);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $З_{\text{тс}}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $Т_{\text{с1}} = 600$ руб. на тарифный коэффициент $k_{\text{т}}$ и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 22.

Таблица 22 – Расчет основной заработной платы

Категория	$З_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$, руб.	$З_{\text{дн}}$, руб.	$Т_{\text{р}}$, раб.дн.	$З_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель							
ППСЗ	12070	0,3	1,3	25105,6	1065,7	13,9	14813,2
Бакалавр							
ППС1	8600	0,3	1,3	17888	759,3	72,4	54973,3
Консультант ЭЧ							
ППСЗ	20080	0,3	1,3	41766,4	1772,9	6	10637,4
Консультант СО							
ППСЗ	20080	0,3	1,3	41766,4	1772,9	6	10637,4
Итого							91061,3

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (12)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Общая заработная исполнителей работы представлена в таблице 23.

Таблица 23 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{доп}$, руб.	$Z_{зн}$, руб.
Руководитель	14813,2	2221,9	17035,1
Бакалавр	54973,3	8245,9	63219,2
Консультант ЭЧ	10637,4	1595,6	12233
Консультант СО	10637,4	1595,6	12233
Итого	91061,3	13659	104720,3

3.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (13)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30 %. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1% [24].

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	14813,2	2221,9
Бакалавр	54973,3	8245,9
Консультант ЭЧ	10637,4	1595,6
Консультант СО	10637,4	1595,6
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого:	28379,2	

3.5.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 5), \quad (14)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16 %.

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (312300 + 1690000 + 91061,3 + 13659 + 28379,2) = 341663,9$$

3.5.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в

качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 25.

Таблица 25 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	312300	312300	790813	таблица 12
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	1690000	1690000	1690000	таблица 13
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	91061,3	91061,3	91061,3	таблица 15
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	13659	13659	13659	таблица 16
5. Отчисления во внебюджетные фонды	28379,2	28379,2	28379,2	таблица 17
6. Накладные расходы	341663,9	341663,9	341663,9	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	2477063,4	2477063,4	2955576,4	Сумма ст. 1-6

Как видно из таблицы 25 основные затраты НТИ приходятся на специальное оборудование для научных работ.

3.5.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его

нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (15)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (16)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки; устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 26.

Таблица 26 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,1	4	5	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5	4	4
3. Энергосбережение	0,15	5	4	5
3. Надежность	0,20	4	5	4
4. Воспроизводимость	0,25	5	4	4
5. Материалоемкость	0,15	5	5	4
ИТОГО	1	4,7	4,5	4,2

Сравнив значения интегральных показателей ресурсоэффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом для проектирования с позиции ресурсосбережения.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i.}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.} \quad (17)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. таблицу 20) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (18)$$

Таблица 27 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,84	0,84	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	4,6	3,8
3	Интегральный показатель эффективности	5,6	5,5	3,8
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,98	0,68

Вывод: сравнительный анализ интегральных показателей эффективности показывает, что предпочтительным для получения винилацетата является первый вариант исполнения, так как данный вариант исполнения является наиболее экономичным и ресурсоэффективным, но и второй вариант не уступает в эффективности.